

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：若手研究(スタートアップ)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19810003  
 研究課題名(和文) 飼料イネを用いた河川水質浄化における温室効果ガス放出の抑制に関する研究  
 研究課題名(英文) Study on control of GHG emission from constructed wetland with forage rice for river water purification  
 研究代表者  
 周 勝 (ZHOU SHENG)  
 東京農工大学・大学院工学府・助教  
 研究者番号: 50451985

## 研究成果の概要：

本研究では、室内及び現場実験の飼料イネ植栽システムにおいて、水位の調節や窒素負荷量が窒素除去及び温室効果ガスの放出速度に与える影響を評価した。その結果、湛水系には安定的な還元雰囲気を持っていたことに対して、非湛水系や間断灌漑の系にはより酸化的な雰囲気になった。水量負荷が高い系では、非湛水系の窒素除去能力は湛水系より高い。また、浸透流れの割合が高ければ高いほど、河川水の窒素を除去する速度が高くなることがわかった。さらに、亜酸化窒素放出フラックスは還元的な雰囲気において低くなることに対して、メタン放出フラックスはより酸化的な雰囲気でも低くなる。これより、流入負荷に応じた適切な水管理による酸化還元電位の制御が温室効果ガス放出を抑制できると考えられる。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	0	1,100,000
2008年度	980,000	294,000	1,274,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,080,000	294,000	2,374,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学 / 環境技術・環境材料

キーワード：飼料イネ、水質浄化、温室効果ガス、バイオマス生産、亜酸化窒素、メタン、窒素除去

## 1. 研究開始当初の背景

閉鎖性水域の富栄養化は依然として重要な問題である。また排水処理施設を中心とした水質対策のみでは、非特定污染源主体の農村地域の水質保全が十分には達成されない。特に小河川が小規模分散型排水処理あるいは

は非特定汚染対策として、北米やヨーロッパでは省エネ・省資源的な方法である人工湿地が利用されているが、人工湿地からメタン放出速度は湛水前の農地と比べ高くなる問題も指摘されている。

一方、飼料の自給率は24%であり、膨大な飼料の輸入に伴い国内に大量の窒素、リンが

持ち込まれている。国外からの窒素、リンは、国内の河川や湖沼など水環境の栄養状態に影響を及ぼす。

水環境を修復するためには、効果的な非特定汚染源対策と国外から輸入される栄養塩量の削減対策を考慮しなければならない。このような現状において、休耕田の浄化機能を利用しつつ、飼料イネを有効活用する資源循環型の水環境改善システムを構築する必要がある。しかし、そうしたシステムを構築する上で、メタンや亜酸化窒素などの地球温暖効果ガスの放出が課題となると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、飼料イネの栽培期間を通じて、田面水の水位制御が、硝化・脱窒などによる窒素浄化能力やメタン及び亜酸化窒素の放出量にどのような影響を及ぼすのかを明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 室内のポット実験では、高負荷の廃水を処理するために、飼料イネを栽培した浸透型ポットを用いて、常に湛水している実験系 (FT1~FT3) および水位の調節を行う実験系 (NFT1~NFT3) を設け、水位の調節による酸化還元電位の変化を調べる。ガス採取用のチャンバーで飼料イネ全体を覆い、チャンバー内のメタン及び亜酸化窒素濃度の経時変化から放出速度を求める。これら両者の関係を明らかにする。さらに、流入負荷量を変えて窒素除去能力を調べる。

(2) 現場の実験では、汚濁した河川水を処理するために、飼料イネの生長段階 (移植期 分けつ期 出穂期 成熟期) にあわせ、水の管理によって、移植期、分けつ期と出穂期には連続湛水及び間断湛水状態にし、最高分けつ期には水位を落とすことによって、生育環境を改善すると共に、土壌中の酸化還元電位を調節する。各系においては異なる水位による酸化還元電位の変化で、水質浄化効果を評価するとともに、メタンおよび亜酸化窒素の放出速度を測定する。これより、メタン及び亜酸化窒素の放出速度と水位、酸化還元電位、間隙水の有機炭素や窒素濃度との関係を解明する。

## 4. 研究成果

### (1) 室内ポット実験

飼料イネを栽培したポットを用いて、流入した窒素負荷量を変えて5ヶ月間実験を行った。常に湛水している実験系および水位の調節を行う実験系を設け、水位の調節による酸化還元電位の変化を調べた。また、実験前半 (Stage1)の水量負荷は1.25, 2.5, 5 cm day<sup>-1</sup>に設定し、後半 (Stage2)は2倍にした。ガス採取用のチャンバーで飼料イネ全体を覆い、チャンバー内のメタン及び亜酸化窒素濃度の経時変化から放出速度を求めた。これら両者の関係を明らかにした。水位調節及び窒

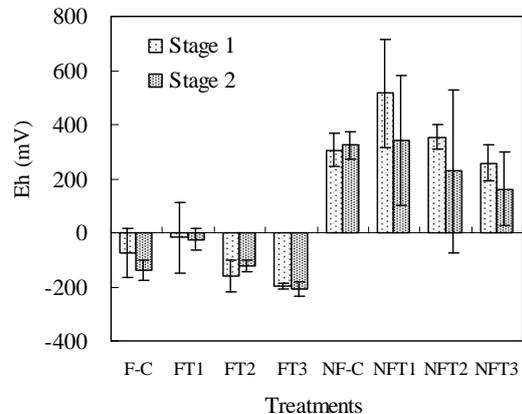


図1 湛水系(F)及び非湛水系(NF)における酸化還元電位の比較 (バーは標準偏差, n=5)

素負荷量が窒素除去及び温室効果ガス放出速度に与える影響を評価した。

その結果、図1に示すように、湛水系の酸化還元電位がマイナスになることに対して、非湛水系の酸化還元電位は殆どプラスになる。また、非湛水系の水位が上がると、酸化還元電位が下がって、しかも、酸化還元電位値の変動が大きくなることがわかった。これは水位の上昇及び飼料イネの蒸発散による水位上下変動によるものと考えられる。また、

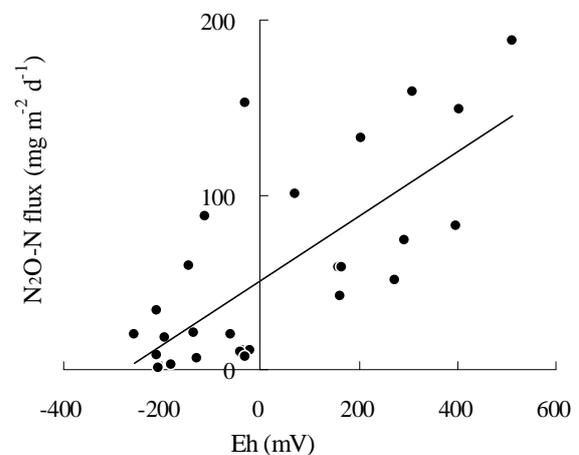


図2 亜酸化窒素放出フラックスと酸化還元電位の関係 ( $y = 0.185x + 50.7$ ;  $r^2 = 0.532$ ;  $p < 0.001$ )

表 1 に示すように、後半から水量負荷を増えると、湛水系の窒素除去速度は  $1.27 - 2.94 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  であることに対して、非湛水系は  $1.23 - 3.88 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  である。特に水量負荷が高い系では、非湛水系の窒素除去能力は湛水系より高いことがわかった。これは高い地下水位の非湛水系において硝化脱窒反応が促進されると考えられる。

表 1 湛水系及び非湛水系における水量負荷及び T-N 除去速度 (Stage2)

Treatment	HLR (cm d <sup>-1</sup> )	Reduction (%)	Removal rate (mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
FT1	2.50	99.2	1.27
NFT1	2.50	98.4	1.23
FT2	5.00	83.9	2.29
NFT2	5.00	87.3	2.33
FT3	10.0	50.4	2.94
NFT3	10.0	67.2	3.88

図 2 に示すように、亜酸化窒素の放出フラックスは酸化還元電位との間に有意の相関関係 ( $r^2 = 0.532, p < 0.001$ ) があることがわかった。また、酸化還元電位値は低くなればなるほど、メタンの放出フラックスが高くなる傾向が見られる。メタンの放出フラックスと酸化還元電位値の間にも有意な相関関係 ( $p = 0.012$ ) があることがわかった (図 3)。これは強い還元状態ではメタン菌が活発になり、メタンの放出フラックスが高くなると考えられる。

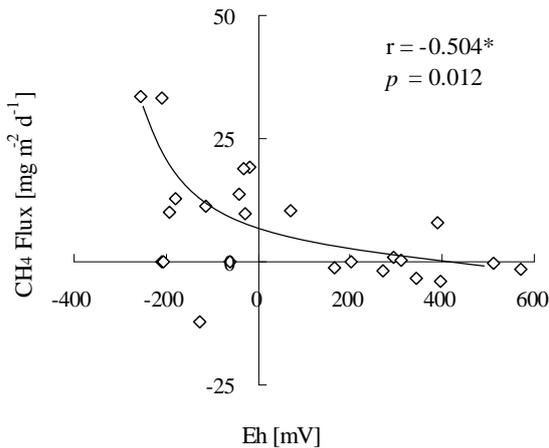


図 3 メタン放出フラックスと酸化還元電位の関係

## (2) 現場実験

実験系として浄化施設の浸透流出流量と表面流出流量の比を 4:1 (A系) と 1:1 (B系) を設けた。2つの系とも5、6月に連続湛水をした後、中干しを行った。その後、B系にお

いて9月から一定の水位を保つ連続湛水のことに対して、A系において、排水口の位置を調節することによって、間断湛水をおこなった。

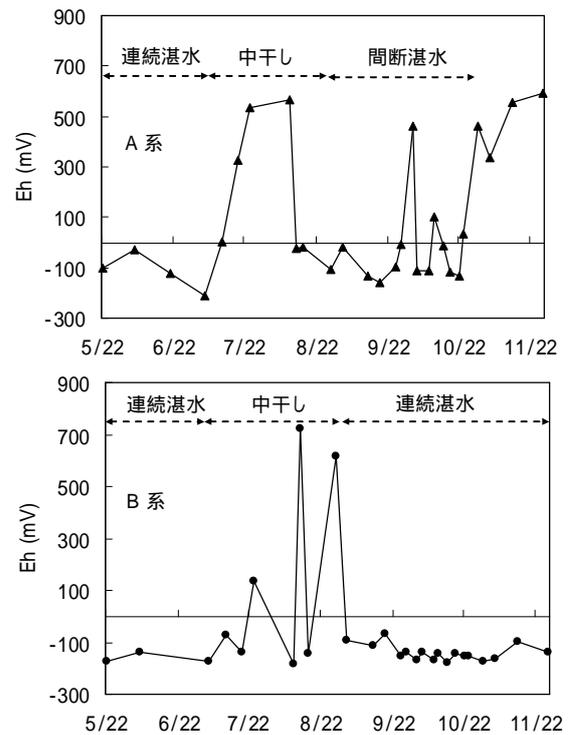


図 4 A系及びB系における酸化還元電位の変化と水管理方式

その結果、図 4 に示すように、B系の酸化還元電位 (-5cm) は中干し期間を除いて、殆ど -150mV を維持していた。一方、A系では、湛水期間の酸化還元電位はB系と同じ程度であったが、間断湛水期間中には Eh の値は -150 ~ +450mV の範囲で変動していた。2つの系とも浸透流出水の全窒素濃度が低く、除去率が高かったが、A系の全体の除去速度 ( $406 \text{ mg-N/m}^2/\text{d}$ ) は B系 ( $326 \text{ mg-N/m}^2/\text{d}$ ) より高い

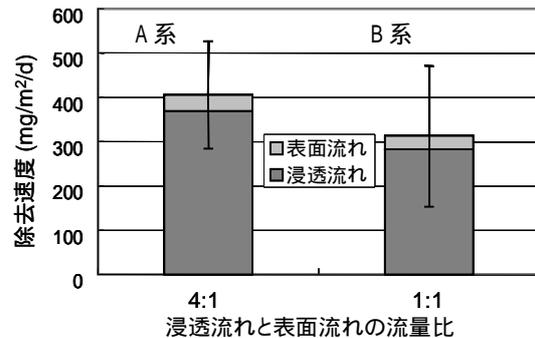


図 5 A系及びB系における T-N 除去速度。

ことがわかった (図 5)。これは浸透流の割合が高いほど、根圏への窒素量が増加し、吸収

量や根圏での脱窒量が増えたためと考えられる。

メタンの放出について、A系においては、最初の湛水期において実験期間中の最大フラックスが見られた。56～79日目及び159日以降の落水期においては、メタン放出はほとんど見られなかった。落水期は、Ehが+300 mV以上だったため、嫌気的な有機物のメタン発酵が起こらず、メタンの発生が無かったと考えられる。一方、B系においては、56日まで及び125日以降の湛水期においては、Ehが約-150 mV一定で推移したにも関わらず、最大でも約1 mg/m<sup>2</sup>/h程度の低いフラックスが見られた。落水期、間断湛水、通水間断湛水期においては、A系と同様に、ほとんど放出は見られなかった。これは表面流と浸透流を組み合わせた飼料イネ湿地において、浸透速度が高いため、土壌中への酸素の流入が促進されることと溶解態有機物(普通の水田より5分の1程度)が土壌間隙水中に蓄積されにくいと考えられる。これより、表面流と浸透流を組み合わせた飼料イネ湿地からの温室効果ガス放出

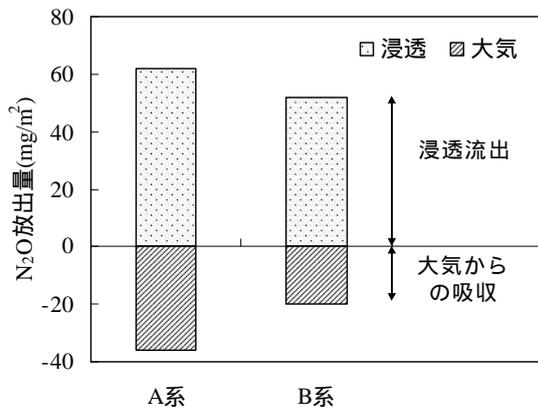


図6 A系及びB系におけるN<sub>2</sub>Oの放出量

量は、一般の水田や湿地からのものよりも低く、温暖化への寄与は小さいことが示唆された。しかし、図6に示すように、亜酸化窒素は大気中への放出より吸収が多かったが、浸透流出水から亜酸化窒素が放出されたことが明らかになった。今後、人工湿地や農地の温室効果ガスを評価する際、浸透流出水からの亜酸化窒素の排出量を考察する必要があることが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

Sheng Zhou, Hong Hou, Masaaki Hosomi  
 "Nitrogen removal, N<sub>2</sub>O emission, and NH<sub>3</sub> volatilization under different water level in vertical flow treatment system", *Water, air, & soil pollution*, 191, 171-182, (2008) (査読あり)  
 周勝、細見正明、「人工湿地に関する研究と利用の動向について」, 用水と廃水、Vol.50(2), 41-50 (2008) (査読あり)

[学会発表](計1件)

利谷翔平、周勝、中島田豊、細見正明、「飼料イネ湿地による水質浄化及び温室効果ガスの放出」日本水処理生物学会第45回大会、2008.11、秋田市

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

周勝 (ZHOU SHENG)  
 東京農工大学・大学院工学府・助教  
 研究者番号：50451985

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし